

1/5/1

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI

(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010846724 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1996-343677/199635

Related WPI Acc No: 2002-218450

XRPX Acc No: N96-289301

Adjustment method for projection optical appts. - measuring distortion of appts. and calculating surface shape for correction optical member based on measurement and machines correction member to calculated shape before replacing in appts.

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR )

Inventor: CHIBA H; YOSHIKAWA T

Number of Countries: 007 Number of Patents: 008

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
EP 724199	A1	19960731	EP 96100989	A	19960124	199635 B
JP 8203805	A	19960809	JP 959687	A	19950125	199642
EP 724199	B1	20010725	EP 96100989	A	19960124	200143
			EP 2000126443	A	19960124	
US 6268903	B1	20010731	US 96581016	A	19960103	200146
DE 69614007	E	20010830	DE 614007	A	19960124	200158
			EP 96100989	A	19960124	
US 6377333	B1	20020423	US 96581016	A	19960103	200232
			US 2000721955	A	20001127	
US 20020113953	A1	20020822	US 96581016	A	19960103	200258
			US 2000536691	A	20000328	
			US 2002114112	A	20020403	
US 20030174297	A1	20030918	US 96581016	A	19960103	200362
			US 2000536691	A	20000328	
			US 2002114112	A	20020403	
			US 2003346082	A	20030117	

Priority Applications (No Type Date): JP 959687 A 19950125

Cited Patents: EP 307726; EP 660169; GB 2138163; US 5392119

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

EP 724199 A1 E 25 G03F-007/20

Designated States (Regional): DE FR GB IT NL

JP 8203805 A 12 H01L-021/027

EP 724199 B1 E G03F-007/20

Related to application EP 2000126443

Related to patent EP 1087264

Designated States (Regional): DE FR GB IT NL

US 6268903 B1 H01L-021/027

DE 69614007 E G03F-007/20

Based on patent EP 724199

US 6377333 B1 H01L-021/027

Div ex application US 96581016

Div ex patent US 6268903

US 20020113953 A1 H01L-021/27

Div ex application US 96581016

Cont of application US 2000536691

Div ex patent US 6268903

US 20030174297 A1 G03B-027/68

Div ex application US 96581016

Cont of application US 2000536691

Div ex application US 2002114112

Div ex patent US 6268903

Abstract (Basic): EP 724199 A

The method measures the distortion of the projection optical appts. which has a projection optical system and a correction optical member (10) arranged at a preset position w.r.t. the system. Based on this

measurement the surface shape for the correction optical member is calculated.

The distortion component is cancelled to zero when the correction member has the correct shape. The correction member is removed from the projection optical appts. and machined to give it the calculated surface shape, after which it is replaced in its original position in the appts.

ADVANTAGE - Minimises degradation in optical performance caused by mfg. error of optical members or which occurs during assembly of optical members.

Dwg.16/17

Title Terms: ADJUST; METHOD; PROJECT; OPTICAL; APPARATUS; MEASURE; DISTORT; APPARATUS; CALCULATE; SURFACE; SHAPE; CORRECT; OPTICAL; MEMBER; BASED; MEASURE; MACHINE; CORRECT; MEMBER; CALCULATE; SHAPE; REPLACE; APPARATUS

Derwent Class: P81; P82; P84; S02; T01; T06; U11; X25

International Patent Class (Main): G03B-027/68; G03F-007/20; H01L-021/027; H01L-021/27

International Patent Class (Additional): G02B-027/00; G03B-027/42

File Segment: EPI; EngPI

?

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-203805

(43)公開日 平成8年(1996)8月9日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 7/20	5 2 1		H 0 1 L 21/ 30	5 1 6 A 5 1 4 E

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平7-9687

(22)出願日 平成7年(1995)1月25日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 千葉 洋

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

(72)発明者 吉川 俊和

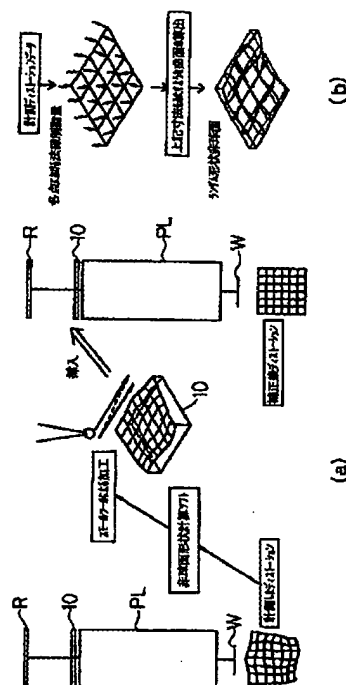
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 投影光学装置の調整方法及び露光装置

(57)【要約】

【目的】複雑な組立調整を行うことなく、ディストーションのランダム成分を補正すること。

【構成】所定の被加工部材を光路中に有する投影光学系における残存ディストーション成分を計測する第1工程と、第1工程の計測結果に基づいて、前記残存ディストーション成分を相殺する如き前記被加工部材の表面形状を算出する第2工程と、被加工部材を前記投影光学系から取り出し、前記第2工程にて算出された表面形状となるように前記被加工部材を加工する第3工程と、第3工程にて加工された前記被加工部材を前記投影光学系の光路中に挿入する第4工程とを有する調整方法を投影光学装置に施す。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】所定の被加工部材を光路中に有する投影光学系における残存ディストーション成分を計測する第1工程と、

前記第1工程の計測結果に基づいて、前記残存ディストーション成分を相殺する如き前記被加工部材の表面形状を算出する第2工程と、

前記被加工部材を前記投影光学系から取り出し、前記第2工程にて算出された表面形状となるように前記被加工部材を加工する第3工程と、

前記第3工程にて加工された前記被加工部材を前記投影光学系の光路中に挿入する第4工程とを有する投影光学装置の調整方法。

【請求項2】前記投影光学系は、物体側から順に、前群、開口絞り及び後群を有し、前記被加工部材は、前記前群及び後群のうち小さい開口数の光束が通過する側の群に位置することを特徴とする請求項1記載の投影光学装置の調整方法。

【請求項3】前記投影光学系は、物体側から順に、前群、開口絞り及び後群を有し、前記被加工部材は、前記前群或いは後群中に位置し、かつ前記開口絞りから最も離れて位置することを特徴とする請求項1または請求項2記載の投影光学装置の調整方法。

【請求項4】前記被加工部材と隣接する光学部材と前記被加工部材との距離を $d$ とし、前記被加工部材の位置する群の焦点距離を $f$ とすると、

$$d/f < 0.07$$

を満足することを特徴とする請求項3記載の投影光学装置の調整方法。

【請求項5】前記被加工部材の屈折力を $\phi$ とすると、 $-0.005 < \phi < 0.005$

を満足することを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか一項記載の投影光学装置の調整方法。ただし、前記被加工部材の焦点距離を $f_a$ とすると、 $\phi = 1/f_a$ である。

【請求項6】前記第1工程における前記被加工部材と、前記第3工程において加工される前記被加工部材とは、別の光学部材であることを特徴とする請求項1乃至請求項5の何れか一項記載の投影光学装置の調整方法。

【請求項7】第1物体の像を第2物体上に投影する投影光学系を備えた露光装置において、前記投影光学系は、前記第1物体側から順に、正屈折力の前群と、開口絞りと、正屈折力の後群とを有し、前記第1物体から前記第2物体へ到る光路中には、所定の被加工部材が配置され、該被加工部材は、該被加工部材が前記光路中に配置された状態にて計測された残存ディストーション成分の計測結果に基づいて算出される該残像ディストーション成分を相殺する如き表面形状を有するように加工されること

を特徴とする露光装置。

【請求項8】前記被加工部材は、前記前群及び後群のうち小さい開口数の光束が通過する側の群に位置することを特徴とする請求項7記載の露光装置。

【請求項9】前記被加工部材は、前記前群或いは後群中に位置し、かつ前記開口絞りから最も離れて位置することを特徴とする請求項7または請求項8記載の投影光学装置の調整方法。

【請求項10】前記被加工部材と隣接する光学部材と前記被加工部材との距離を $d$ とし、前記被加工部材の位置する群の焦点距離を $f$ とすると、 $d/f < 0.07$

を満足することを特徴とする請求項9記載の露光装置。

【請求項11】前記被加工部材の屈折力を $\phi$ とすると、 $-0.005 < \phi < 0.005$

を満足することを特徴とする請求項7乃至請求項10の何れか一項記載の露光装置。ただし、前記被加工部材の焦点距離を $f_a$ とすると、 $\phi = 1/f_a$ である。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は第1の物体上のパターンを第2の物体上に投影露光するための投影光学装置に関し、特に投影光学装置の調整方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】精密な回路パターンを感光材料が塗布された基板（ウェハ、プレート等）上に焼き付ける露光装置に使用する投影光学系には、非常に高い光学性能が要求される。このため、投影光学系に使用される光学部材も究極的な製造精度にて作製される。

【0003】さらに、作製された光学部材を合わせて投影光学系として組み上げる際においても、実際に投影光学系の収差を測定しつつ、例えば、各光学部材を保持する鏡筒間のワッシャの厚みを変更することにより各光学部材の間隔を調整する手法や、該光学部材をティルト（光軸垂直方向を軸とする回転）する手法、該光学部材をシフト（光軸垂直方向に沿って移動）する手法などの非常に微妙な調整を行っている。この調整により、光学部材の製造誤差による光学性能の劣化や光学部材の組み込みの際に生じる光学性能の劣化を最小としている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来技術の投影光学系においては、上述のような組立調整を行っても補正しきれないディストーション成分が残存していた。特に基準となる光軸に対して方向性を持たないディストーションのランダム成分（非対称なディストーション）については、従来技術においては有効な補正方法がなく、精密な焼き付け露光装置におけるトータルオーバレイ向上の障害となっていた。

【0005】そこで、本発明はかかる点に鑑みてなされ

たものであり、複雑な組立調整を行うことなく、ディストーションのランダム成分を補正することを目的とする。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明では、例えば図1(a),(b)に示す如く、所定の被加工部材を光路中に有する投影光学系における残存ディストーション成分を計測する第1工程と、第1工程の計測結果に基づいて、前記残存ディストーション成分を相殺する如き前記被加工部材の表面形状を算出する第2工程と、被加工部材を前記投影光学系から取り出し、前記第2工程にて算出された表面形状となるように前記被加工部材を加工する第3工程と、第3工程にて加工された前記被加工部材を前記投影光学系の光路中に挿入する第4工程とを有する調整方法を投影光学装置に施すものである。

【0007】なお、本発明において、残存ディストーション成分とは、投影光学系が無収差の理想光学系である場合の理想結像位置を考えたとき、被加工部材及び投影光学系を介した光束の実際の結像位置と、前記理想結像位置とのずれ量のことを示す。

#### 【0008】

【作用】上述の構成の如き本発明においては、投影光学系を構成する光学部材である被加工部材の表面形状を加工しているため、この被加工部材を通過する光束を屈折作用により偏向させることができる。これにより、物体面上の所定の点の結像位置を像面上において光軸垂直方向に偏位させて、投影光学系における残存倍率成分及び残存ディストーション成分を補正することができる。

【0009】図2を参照して簡単に説明する。図2(a)は加工前の被加工部材10がレチクルRとウェハWとの間の光路中に配置される様子を示す図であり、図2(a)では投影光学系を図示省略している。図2(a)において、レチクルR上の点Oからの光束は、被加工部材10及び図示なき投影光学系を介して、ウェハW上に結像する。ここで、図示なき投影光学系がディストーションを有する場合には、レチクルR上の点Oからの光束は点P<sub>1</sub>上に集光し、この点P<sub>1</sub>には点Oの像が形成される。仮に不図示の投影光学系が理想結像光学系である場合には、レチクルR上の点Oからの光束は点P<sub>0</sub>上に集光し、この点P<sub>0</sub>に点Oの像を形成する。このとき、ウェハW面内における点P<sub>0</sub>と点P<sub>1</sub>とのずれが投影光学系のディストーションに対応する。

【0010】本発明では、図2(b)に示す如く、投影光学系の光路中に存在する被加工部材10の表面形状を、加工前の表面10aから表面10bとなるように加工している。これにより、レチクルR上の点Oからの光束が被加工部材10の表面10bによる屈折作用を受けるため、ウェハW上の点P<sub>0</sub>上に集光する。これにより、投影光学系のディストーションが補正される。

【0011】なお、本発明において、被加工部材による補正の前に、光軸に関して対称的に発生する諸収差を補正しておくことが望ましい。これにより、被加工部材の加工量を少なくすることができ、加工が容易となり、さらに他の収差への影響を防ぐことができる。また、本発明において、投影光学系は、物体側から順に、前群、開口絞り及び後群を有するように構成されることが好ましく、このとき、被加工部材は、前記前群及び後群のうち小さい開口数の光束が通過する側の群に位置することが好ましい。この構成により、結像のために被加工部材を通過する光束が細くなる位置に被加工部材が設けられることになるため、残存倍率成分及び残存ディストーション成分のコントロールの精度をさらに向上させることが可能である。さらにこの構成によれば、組立調整された投影光学系における他の収差成分への影響を軽減できる。

【0012】また、本発明において、被加工部材は、前群或いは後群中に位置し、かつ開口絞りから最も離れて位置するように構成されることが好ましい。この構成により、被加工部材が結像のために被加工部材を通過する光束が細くなる位置に設けられることになるため、残存倍率成分及び残存ディストーション成分の補正精度をさらに向上させることが可能である。さらに、この構成では、被加工部材が投影光学系の最も外側（最も物体側或いは最も像側）に位置することになるため、投影光学系の鏡筒の構成の簡素化を達成することができ、上記第3及び第4工程における被加工部材の挿脱が容易になる利点がある。

【0013】また、本発明においては、被加工部材と隣接する光学部材と被加工部材との距離をdとし、被加工部材の位置する群の焦点距離をfとすると、

#### 【0014】

##### 【数1】

$$(1) \quad d/f < 0.07$$

を満足することが好ましい。この条件式(1)は、被加工部材の最適な配置を規定するものであり、この条件式(1)の上限を超える場合には、投影光学系の作動距離を十分に確保できなくなるため好ましくない。なお、この条件式(1)においては、下限を0.001とし、 $0.001 < d/f$ とすることが好ましい。この下限を超える場合には、被加工部材を保持する保持部材と、この被加工部材と隣接する光学部材を保持する保持部材との干渉を招く恐れがあり、保持部材の設計の自由度が減少するため好ましくない。

【0015】また、本発明においては、被加工部材の屈折力をφとすると、

#### 【0016】

##### 【数2】

$$(2) \quad -0.005 < \phi < 0.005$$

を満足することが好ましい。なお、被加工部材の屈折力

5

$\phi$ は、被加工部材の焦点距離を $f_a$ とすると、 $\phi = 1/f_a$ で表される。

【0017】この条件式(2)は、被加工部材の好適な屈折力 $\phi$ の範囲を規定して、被加工部材の組み込みの容易化を達成するためのものである。ここで、被加工部材が条件式(2)の範囲を超えた屈折力を有する際には、被加工部材の偏心精度が厳しくなり、高精度に被加工部材の位置決め(光軸調整)を行う必要があるため好ましくない。被加工部材の屈折力 $\phi$ がこの条件式(2)の範囲内である場合には、被加工部材の組み込み誤差による収差の影響を少なくすることができ、被加工部材の位置決め精度を金物精度の程度とすることができる。なお、上述の観点と加工の容易性と考えると、被加工部材は、屈折力を有しない平行平板から構成されることが好ましい。

【0018】

【実施例】以下、図面を参照して本発明による実施例を詳述する。図3は、本発明の投影光学装置に好適な露光装置の一例を概略的に示す構成図であり、2次元のXZ座標系を採用している。図3において、照明光学装置ISは、例えば365nm(i線)、248nm(KrFエキシマレーザ)、193nm(ArFエキシマレーザ)等の露光光によりレチクルステージRS上に載置されたレチクルRを均一照明する。レチクルRの下方には、被加工部材としてのディストーション補正板10と、このディストーション補正板10を載置する保持部材11と、所定の縮小倍率を有し実質的に両側テレセントリックな投影対物レンズPLとが設けられている。この投影対物レンズPLは、レチクルR側から順に、正屈折力の前群 $G_f$ と開口絞りASと正屈折力の後群 $G_r$ とを有するものであり、前群 $G_f$ と後群 $G_r$ との屈折力の比は投影対物レンズPLの縮小倍率と対応している。ここで、本実施例では、投影対物レンズPLは、ディストーション補正板10を含めた状態で収差補正がなされるように光学設計されている。従って、照明光学装置ISにより照明されたレチクルRからの光は、ディストーション補正板10及び投影対物レンズPLを介してウェハステージWS上に載置されたウェハW上に達し、ウェハWにレチクルRの縮小像を形成する。このウェハステージWSはXYZ方向に移動可能に設けられている。なお、本実施例において、ディストーション補正板10は、例えば石英ガラス等の露光光を透過させる材料からなる平行平板から構成されている。

【0019】また、ディストーション補正板10が載置される保持部材11は、例えば図4に示す如く、露光光を通過させるための開口を有し、その一部にディストーション補正板を規制するピン11a~11cが設けられている。従って、ディストーション補正板10がピン11a~11cに当接することにより、ディストーション補正板10の位置決めがなされる。

【0020】本実施例では、ディストーションのランダ

6

ム成分の補正に先立って、投影対物レンズPLの諸収差のうち対称的な成分の補正を行う。まず、レチクルステージRS上に所定のパターンが形成されたテストレチクル $TR_1$ を載置する。このテストレチクル $TR_1$ は、例えば図5に示す如く、複数のマークが設けられたパターン領域 $PA_1$ と、このパターン領域 $PA_1$ を囲む遮光帯LSTとを有する。次に、照明光学装置ISの露光光によりテストレチクル $TR_1$ をケーラー照明する。この照明されたテストレチクル $TR_1$ からの光は、ディストーション補正板10及び投影対物レンズPLを介して、レジスト等の感光材料が塗布されたウェハWに達し、このウェハWにテストレチクル $TR_1$ のパターン像を形成する。その後、ウェハWの現像処理を行い、この現像によるレジストパターン像を座標測定機によって計測する。その後、計測されたレジストパターン像の情報に基づいて、光学部材の間隔の調整や、この光学部材のティルト・シフト調整を行い、ディストーションのランダム成分以外の諸収差を補正する。

【0021】上述の如きディストーションのランダム成分以外の諸収差の補正動作の後に、ディストーションのランダム成分を補正する。まず、上述の補正に用いられたテストレチクル $TR_1$ の代わりに、図6に示す如きテストレチクル $TR_2$ をレチクルステージRS上に載置する。このテストレチクル $TR_2$ は、露光光を遮光する遮光帯LSTで囲まれるパターン領域 $PA_2$ 内にマトリックス状に配列された、すなわち正方格子の格子点上に配列された複数の十字マーク $M_{0,0} \sim M_{8,8}$ を有するものである。なお、テストレチクル $TR_1$ のパターン領域 $PA_1$ 上に、テストレチクル $TR_2$ の十字マーク $M_{0,0} \sim M_{8,8}$ を設ける、すなわちテストレチクル $TR_1$ とテストレチクル $TR_2$ とを共用しても良い。

【0022】次に、図3に戻って、レチクルステージRS上のテストレチクル $TR_2$ を照明光学装置ISの露光光により照明する。このテストレチクル $TR_2$ からの光は、ディストーション補正板10及び投影対物レンズPLを介して、レジスト等の感光材料が表面上に塗布されたウェハW上の露光領域に達し、このウェハWにテストレチクル $TR_2$ の複数の十字マーク $M_{0,0} \sim M_{8,8}$ の像(潜像)を形成する。その後、露光されたウェハWの現像処理を行い、露光された複数の十字マーク $M_{0,0} \sim M_{8,8}$ 像をパターン化する。

【0023】ウェハW上の露光領域EA内においてパターンされた複数の十字マークを図7に示す。なお、図7では、投影光学系が理想光学系(無収差の光学系)である場合の結像位置である理想結像位置を破線の交点で表している。図7において、レチクルR上の十字マーク $M_{0,0}$ の像に対応するものが十字パターン $P_{0,0}$ であり、レチクルR上の十字マーク $M_{1,0}$ の像に対応するものが十字パターン $P_{1,0}$ であり、レチクルR上の十字マーク $M_{0,1}$ の像に対応するものが十字パターン $P_{0,1}$ であ

り、以下の十字マークと十字パターンとは同様に対応している。

【0024】その後、ウェハW上に形成された複数の十字パターン $P_{0,0} \sim P_{8,8}$ のそれぞれのXY座標を座標測定機によって測定する。本実施例においては、複数の十字パターン $P_{0,0} \sim P_{8,8}$ 上に集光する複数の十字マーク $M_{0,0} \sim M_{8,8}$ からの光束をディストーション補正板10の表面形状を加工することにより、複数の十字パターン $P_{0,0} \sim P_{8,8}$ を理想結像位置に変位させている。以下、具体的なディストーション補正板10の面形状の算出について説明する。

【0025】図3に示した通り、本実施例におけるディストーション補正板10は、投影対物レンズPLとレチクルRとの間の光路中に配置されている。この位置は、比較的開口数(N.A.)が細い光束が通過する位置であるため、ディストーション補正板10による結像位置の変位を行うにあたっては、ディストーション補正板10の表面形状の変更により変位される光束のうち、代表的に主光線の変位を考えれば良い。

【0026】ここで、図7に示す理想結像位置と複数の十字パターン $P_{0,0} \sim P_{8,8}$ とのずれ量であるディストーション量を $w$ とし、複数の十字マーク $M_{0,0} \sim M_{8,8}$ からの主光線がディストーション補正板10を通過する点である主光線通過点におけるディストーション補正板10の表面の法線の角度変化量を $\theta$ とすると、

【0027】

$$\text{【数3】 (3) } w = \beta \cdot L_r \cdot (n-1) \cdot \theta$$

が成立する。なお、上記角度変化量 $\theta$ は、加工前の基準状態におけるディストーション補正板10の表面の法線に対するものであり、 $\beta$ は投影光学系の横倍率、 $L_r$ はレチクルRとディストーション補正板10の加工される表面との光軸方向に沿った距離、 $n$ はディストーション補正板10の屈折率である。また、(3)式において、ディストーション補正板10の加工される面は、ウェハW側の面であるとしている。

【0028】また、ディストーション補正板10が投影対物レンズPLとウェハWとの間の光路中にある場合には、

【0029】

$$\text{【数4】 (4) } w = L_r \cdot (n-1) \cdot \theta$$

が成立する。ただし、 $L_r$ はウェハWとディストーション補正板10の加工される表面との光軸方向に沿った距離である。

【0030】従って、前述の座標測定機による複数の十字パターン $P_{0,0} \sim P_{8,8}$ の座標と、理想結像位置とのずれ量であるディストーション量から、ディストーション補正板10の表面の主光線通過点における面法線を求められる。これにより、ディストーション補正板10の面法線は各主光線通過点においては定まるが、ディストーション補正板10の表面が連続的につながった形状に

ならない。従って、本実施例では、(3)式により求められたディストーション補正板10の主光線通過点における面法線から曲面補完式を用いて連続的な表面形状としている。

【0031】ここで、曲面補完式としては種々のものが存在するが、本実施例に用いる曲面補完式としては、面法線が既知であり、この面法線から主光線通過点における面の接線ベクトルを求めることができるため、点の座標とその座標における接線ベクトルとから曲面を補完するクーンズ(Coons)の式によるものが好適である。しかしながら、図8(a)に示すように、例えば点 $Q_0$ と点 $Q_1$ との隣合う座標における接線ベクトル $\theta_0, \theta_1$ が共に等しい場合には、補完される曲線(曲面)がうねってしまう問題が生じる。

【0032】本実施例において、隣合う主光線通過点を通過する主光線によるディストーション量が等しい場合には、これらの隣合う主光線通過点の間においてもディストーション量を等しくすることが効果的である。ここで、図8(a)に示すように、補完される曲線(曲面)がうねる場合には、隣合う主光線通過点の間におけるディストーションの量と方向とが逐次変化し、ディストーションのランダム成分を補正できないばかりか、測定点の間においてディストーションのランダム成分をさらに発生させてしまう恐れがある。

【0033】そこで、本実施例では、隣合う主光線通過点の間においてもディストーション量を等しくするために、図8(b)に示すように、座標 $Q_0$ における接線ベクトル $\theta_0$ のZ方向のベクトル成分を、Z方向の高さ $Z_1$ として座標 $Q_0$ の隣の座標 $Q_1$ に加える。これにより、隣合う座標 $Q_0, Q_1$ の接線ベクトルが共に等しい場合においても、補完される曲線はこれらの座標 $Q_0, Q_1$ 間においてほぼ直線となり、これらの座標 $Q_0, Q_1$ 間を通過する主光線はほぼ等しい角度で屈折する。従って、隣合う主光線通過点を通過する主光線によるディストーション量が等しい場合には、これらの隣合う主光線通過点の間においてもディストーション量を等しくすることが可能となる。

【0034】次に、図9～図13を参照して、本実施例における曲面補完の手順を具体的に説明する。なお、図9乃至図13においては、XYZ座標系を採用している。

〔ステップ1〕まず、図9に示す如く、ディストーション補正板10の被加工面10aにXYZ座標をとる。なお、図9においては、図6に示す複数の十字マーク $M_{0,0} \sim M_{8,8}$ から図7に示す複数の十字パターン $P_{0,0} \sim P_{8,8}$ へ向かう光束の主光線がディストーション補正板10を通過する主光線通過点 $Q_{0,0} \sim Q_{8,8}$ を破線の交点で示している。ここで、上述の(3)式にて求められた各主光線通過点 $Q_{0,0} \sim Q_{8,8}$ における法線ベクトルを $\theta_{i,j}$  (但し本実施例では  $i=0-8, j=0-8$ すなわち $\theta$

9

$0.0 \sim \theta_{8.8}$ ) と表し、各主光線通過点  $Q_{0.0} \sim Q_{8.8}$  における Z 方向の高さを  $Z_{1.1}$  (但し本実施例では  $i=0 \sim 8, j=0 \sim 8$  すなわち  $Z_{0.0} \sim Z_{8.8}$ ) と表す。

〔ステップ2〕次に、図10に示す如く、主光線通過点のうちの Y 軸上の端点である主光線通過点  $Q_{0.0}$  を Z 軸方向の基準として、 $Z_{0.0} = 0$  とする。

〔ステップ3〕主光線通過点  $Q_{0.0}$  の法線ベクトル  $\theta_{0.0}$  に基づいて、Y 軸上において主光線通過点  $Q_{0.0}$  と隣合う座標の主光線通過点  $Q_{0.1}$  における Z 方向の高さ  $Z_{0.1}$  を以下の (5) 式により算出する。

【0035】

〔数5〕 (5)  $Z_{0.1} = Z_{0.0} + \theta_{y_{0.1}} (y_{0.1} - y_{0.0})$

但し、 $\theta_{y_{0.1}}$  : 主光線通過点  $Q_{0.1}$  における法線ベクトル  $\theta_{0.1}$  の Y 軸方向のベクトル成分、

$y_{0.1}$  : 主光線通過点  $Q_{0.1}$  における主光線通過点  $Q_{0.0}$  を原点に取ったときの座標値の Y 軸方向の成分、である。

【0036】該ステップ3において、主光線通過点  $Q_{0.1}$  における Z 方向の高さ  $Z_{0.1}$  は、上記 (5) 式に基づいて、

【0037】

〔数6〕  $Z_{0.1} = Z_{0.0} + \theta_{y_{0.1}} (y_{0.1} - y_{0.0})$  より算出される。

〔ステップ4〕上述の (5) 式に基づいて、Y 軸上の主光線通過点  $Q_{0.2} \sim Q_{0.8}$  について、Z 方向の高さ  $Z_{0.2} \sim Z_{0.8}$  を算出する。

〔ステップ5〕主光線通過点  $Q_{0.0}$  の法線ベクトル  $\theta_{0.0}$  に基づいて、X 軸上において主光線通過点  $Q_{0.0}$  と隣合う座標の主光線通過点  $Q_{1.0}$  における Z 方向の高さ  $Z_{1.0}$  を以下の (6) 式により算出する。

【0038】

〔数7〕 (6)  $Z_{1.0} = Z_{0.0} + \theta_{x_{1.0}} (x_{1.0} - x_{0.0})$

但し、 $\theta_{x_{1.0}}$  : 主光線通過点  $Q_{1.0}$  における法線ベクトル  $\theta_{1.0}$  の X 軸方向のベクトル成分、

$x_{1.0}$  : 主光線通過点  $Q_{1.0}$  における主光線通過点  $Q_{0.0}$  を原点にとったときの座標値の X 軸方向の成分、である。

【0039】該ステップ5において、主光線通過点  $Q_{1.0}$  における Z 方向の高さ  $Z_{1.0}$  は、上記 (6) 式に基づいて、

【0040】

〔数8〕  $Z_{1.0} = Z_{0.0} + \theta_{x_{1.0}} (x_{1.0} - x_{0.0})$  より算出される。

〔ステップ6〕上述の (6) 式に基づいて、X 軸上の主光線通過点  $Q_{2.0} \sim Q_{8.0}$  について、Z 方向の高さ  $Z_{2.0} \sim Z_{8.0}$  を算出する。

〔ステップ7〕図11に示す如く、X 軸と Y 軸とに挟まれる主光線通過点  $Q_{1.1} \sim Q_{8.8}$  のうち、原点  $Q_{0.0}$  に

10

近い順からそれぞれ Z 方向の高さ  $Z_{1.1}$  を以下の (7) 式に基づいて算出する。

【0041】

〔数9〕 (7)  $Z_{1.1} = \{ [Z_{i-1,j} + \theta_{x_{i-1,j}} (x_{i,j} - x_{i-1,j})] + [Z_{i,j-1} + \theta_{y_{i,j-1}} (y_{i,j} - y_{i,j-1})] \} / 2$

ステップ7においては、まず、原点  $Q_{0.0}$  に最も近い主光線通過点  $Q_{1.1}$  における Z 方向の高さ  $Z_{1.1}$  を求める。このとき、主光線通過点  $Q_{1.1}$  の Z 方向の高さ  $Z_{1.1}$  は、上記 (7) 式に基づいて、

【0042】

〔数10〕  $Z_{1.1} = \{ [Z_{0,1} + \theta_{x_{0,1}} (x_{1,1} - x_{0,1})] + [Z_{1,0} + \theta_{y_{1,0}} (y_{1,1} - y_{1,0})] \} / 2$

より算出される。ステップ7では、図12に示すように、主光線通過点  $Q_{1.1}$  の Z 方向の高さ  $Z_{1.1}$  の算出後、主光線通過点  $Q_{1.2}, Q_{2.1}, Q_{2.2}, \dots, Q_{1,j}, \dots, Q_{8.8}$  の Z 方向の高さ  $Z_{1.2}, Z_{2.1}, Z_{2.2}, \dots, Z_{1,j}, \dots, Z_{8.8}$  を上記 (7) 式に基づいて原点  $Q_{0.0}$  に近い順から算出する。

〔ステップ8〕上述のステップ1～7で求められた主光線通過点  $Q_{0.0} \sim Q_{8.8}$  における  $Z_{0.0} \sim Z_{8.8}$  と、主光線通過点  $Q_{0.0} \sim Q_{8.8}$  の XY 座標と、主光線通過点  $Q_{0.0} \sim Q_{8.8}$  での面法線ベクトル  $\theta_{0.0} \sim \theta_{8.8}$  から求められる主光線通過点  $Q_{0.0} \sim Q_{8.8}$  における接線ベクトルとに基づいて、クーンズ・パッチの手法により曲面を張る。すなわち、クーンズ・パッチの制御点を主光線通過点  $Q_{0.0} \sim Q_{8.8}$  における XYZ 座標とし、その接線ベクトルを主光線通過点  $Q_{0.0} \sim Q_{8.8}$  での面法線ベクトル  $\theta_{0.0} \sim \theta_{8.8}$  から求められた接線ベクトルとする。

【0043】このステップ8におけるクーンズ・パッチによる曲面補完により、例えば図13に示すような曲面を得ることができる。なお、上述のステップ1～ステップ8では、ステップ3～ステップ6で求められる XY 方向の基準線を X 軸及び Y 軸上としているが、この XY 方向の基準線が光軸を通るように設定しても良い。このときには、上述のステップ6とステップ7との間に以下のステップAを実行すれば良い。

〔ステップA〕光軸が通過する点での Z 方向の高さを 0 とするように、上述のステップ3乃至ステップ6にて算出された Y 軸上及び X 軸上の主光線通過点における Z 方向の高さに Z 方向のオフセットをのせる。

【0044】また、ディストーションの測定点、すなわちテストレチクル上のマークが正方格子の格子点上に配列されていない場合には、各測定点の中間点にあたる正方格子の格子点での Z 方向の高さ及び面法線ベクトルを内挿する。具体的には、Z 方向の高さ及び面法線ベクトルを求めるべき正方格子の格子点を囲むディストーションの測定点における Z 方向の高さ及び面法線ベクトル



に、ディストーションの測定点から正方格子の格子点までの距離をウェイト化して乗じれば良い。

【0045】なお、上述のステップ1～ステップ8においては、ディストーションの測定点の内側の情報のみを使用しているが、より被加工部材としてのディストーション補正板10の表面形状をより滑らかにするために、ディストーションの測定点に対応する主光線通過点のうち最も外側（光軸から離れる側）の主光線通過点の外側に格子点を取り、この格子点におけるZ方向の高さ及び面法線ベクトルを、最も外側の主光線通過点におけるZ方向の高さ及び面法線ベクトルから外挿すれば良い。

【0046】次に、図3に示す投影光学装置からディストーション補正板10を取り外し、ステップ1～ステップ8により求められたディストーション補正板10の面形状データに基づいて、取り外されたディストーション補正板10の表面形状の加工を行う。ここで、本実施例におけるディストーション補正板10は、ディストーションのランダム成分を補正するために、その表面形状がランダムで不規則にうねった形状となる。従って、本実施例では、図14に示す如き研磨装置を用いる。なお、図14においてはXZ座標系を採用している。

【0047】図14において、ディストーション補正板10は、XY方向に移動可能なステージ21上に載置されており、その端部がステージ21上のピン21aに当接している。また、ステージ21をXY方向に沿って移動させる駆動部22は、制御部20によって制御されている。駆動部22によるステージ21の移動の際においてそのXY方向における位置を検出するために、エンコーダ、干渉計等からなる検出部30がステージ21に設けられている。この検出部30による検出信号は制御部20へ伝達される。

【0048】また、研磨皿23は、保持部24を介して回転軸25の一端に取り付けられており、図中Z方向を軸として回転可能である。この回転軸25の他端には、制御部20によって制御されるモータ26が取り付けられている。回転軸25を回転自在に支持する軸受27は、図示なき本体に固設されている支持部28に対してZ方向に移動可能に設けられている。この支持部20には、制御部20により制御されるモータ29が取り付けられており、このモータの作用によって軸受27がZ方向に沿って移動し、ひいては研磨皿23がZ方向に沿って移動する。なお、研磨皿23を保持する保持部24には、研磨皿23とディストーション補正板10との接触圧を検出するためのセンサ（不図示）が設けられており、このセンサからの出力は制御部20へ伝達される。

【0049】次に、図14の研磨装置の動作の説明を簡単にすると、まず、上述のステップ1～ステップ8により求められた面形状データを制御部20へ入力する。その後、制御部20は、研磨皿23を回転させつつ、駆動

部22を介してステージ21をXY方向に沿って移動させる。すなわち、研磨皿23がディストーション補正板10の被加工面10aをXY方向に沿ってなぞるように移動する。このとき、ディストーション補正板10の被加工面10aにおける研磨量は、該被加工面10aと研磨皿23との接触圧、研磨皿23の滞留時間で決定される。

【0050】その後、図14の研磨装置により加工されたディストーション補正板10に対して反射防止膜を蒸着し、図3の投影光学装置の保持部材11上に加工されたディストーション補正板を載置する。尚、図14の研磨装置においては、研磨皿23はXY方向において固定されているが、ステージ21をXY方向へ移動させる代わりにこの研磨皿23を移動させても良い。

【0051】以上の如き本実施例により、投影光学系を構成する各光学部材の調整のみでは不可能であったディストーションのランダム成分の補正を容易に行うことができる。なお、上述の実施例においては、ディストーション補正板10として屈折力を有しない平行平板を用いているため、ディストーション補正板の偏心精度を緩くすることができる。これにより、図4に示す如き保持部材11による位置決め、すなわち金物の精度で決まる位置決めであっても十分なる光学性能を達成することが可能である。さらに、ディストーション補正板10が平行平板であるため、ディストーション補正板に対する加工が簡単になる利点がある。なお、ディストーション補正板10として所定の曲率を持つレンズを用いる場合には、上述の理由によりその屈折力は弱い方が望ましい。

【0052】また、上述の実施例においては、ディストーション補正板10を光束の開口数が小さい側であるレチクルR側（拡大側）に配置しているため、主光線の変位のみを考慮しているが、ディストーション補正板10をウェハW側（縮小側）に配置する場合には、ディストーション補正板10の位置における光束径の大きさによる影響を考慮して、ディストーション補正板10に対する加工量を決定することが良い。また、さらにディストーション補正の精度を向上させるためには、ディストーション補正板10をレチクルR側に配置する場合であっても、ディストーション補正板10の位置における光束径に応じて、それに対する加工量を決定することが好ましい。

【0053】また、上述の実施例においては、ディストーション補正板10の部品精度による影響を少なくするために、測定時に光路中に設けられたディストーション補正板10に対して加工を施しているが、測定時には、加工されるディストーション補正板とは異なるダミー部品を光路中に設けても良い。ただし、この場合、該ダミー部品の部品精度を高めておく必要がある。

【0054】そして、上記実施例において、ディストー

ション補正板 10 を投影光学系 PL を構成する光学部材のうち最もレチクル側の光学部材としているため、投影光学系 PL の光路にディストーション補正板 10 を挿脱する作業を容易に行うことができる利点がある。上述の如き実施例では、ディストーション補正板 10 を金物で決まる精度で位置決めしているが、さらに高精度な補正を行うためには、ディストーション補正板 10 の一部に所定のマークを設けて、保持部材 11 に対する（投影光学系 PL に対する）位置を光学的に検出する構成も可能である。このとき、ディストーション補正板 10 に設けられるマークは、露光光が通過しない位置であることが望ましい。

#### 【0055】

【発明の効果】以上の通り本発明によれば、ディストーションランダム成分を複雑な組立調整を行うことなく補正することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による投影光学装置の調整方法を示す図であり、図 1 (a) は各工程の流れを示す図であり、図 1 (b) は計測されたディストーションから被加工部材の形状を算出する工程を示す図である。

【図 2】本発明による調整方法の原理を説明する図であり、図 2 (a) は調整前の光束の状態を示す図であり、図 2 (b) は調整後の光束の状態を示す図である。

【図 3】本発明による実施例の投影光学装置が適用された露光装置の概略を示す図である。

【図 4】ディストーション補正板を保持する保持部材の構成を示す図である。

【図 5】ディストーション以外の諸収差を測定するため

に用いられるテストレチクルの構成を示す平面図である。

【図 6】ディストーションを測定するために用いられるテストレチクルの構成を示す平面図である。

【図 7】図 6 のテストレチクルを用いて形成されたウェハ上のパターンの状態を示す図である。

【図 8】本実施例による曲面補完式の説明のための図であり、図 8 (a) は従来の曲面補完式を用いた場合を示し、図 8 (b) は本実施例による曲面補完式を用いた場合を示す。

【図 9】本実施例による曲面補完の手法を示す図である。

【図 10】本実施例による曲面補完の手法を示す図である。

【図 11】本実施例による曲面補完の手法を示す図である。

【図 12】本実施例による曲面補完の手法を示す図である。

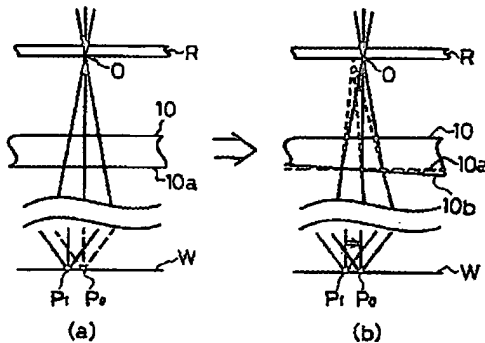
【図 13】本実施例による曲面補完の手法を示す図である。

【図 14】ディストーション補正板を加工するための装置の構成を示す図である。

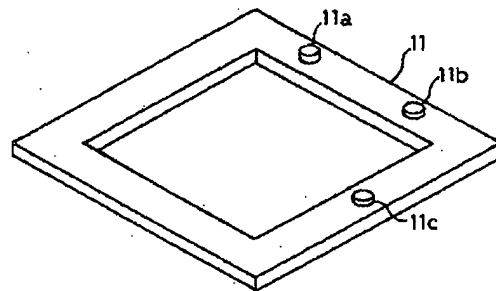
#### 【符号の説明】

R … レチクル、  
W … ウェハ、  
10 … ディストーション補正板（被加工部材）、  
11 … 保持部材、  
PL … 投影光学系、

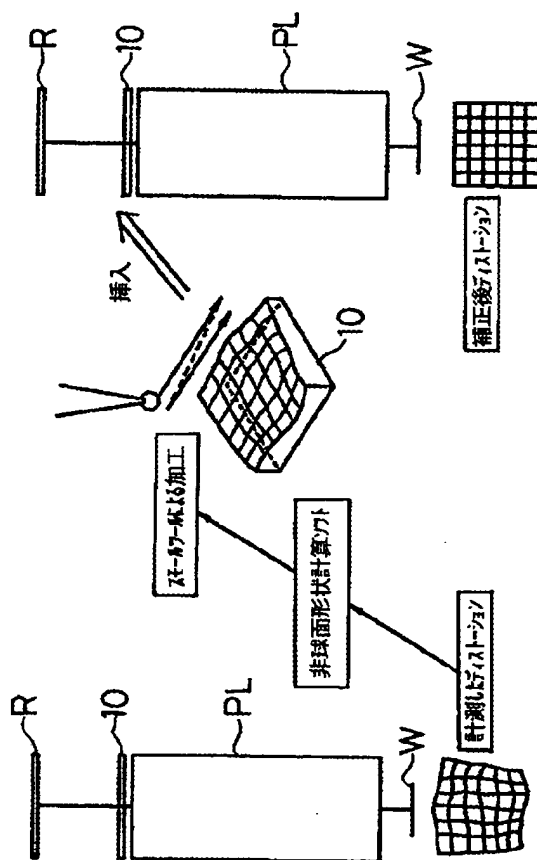
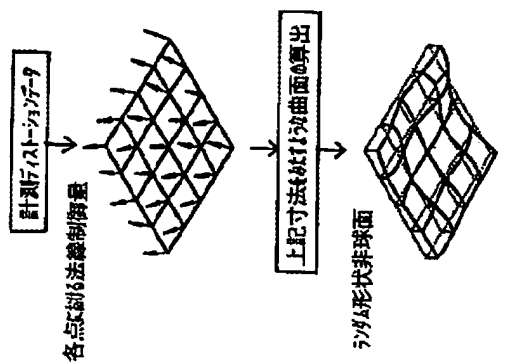
【図 2】



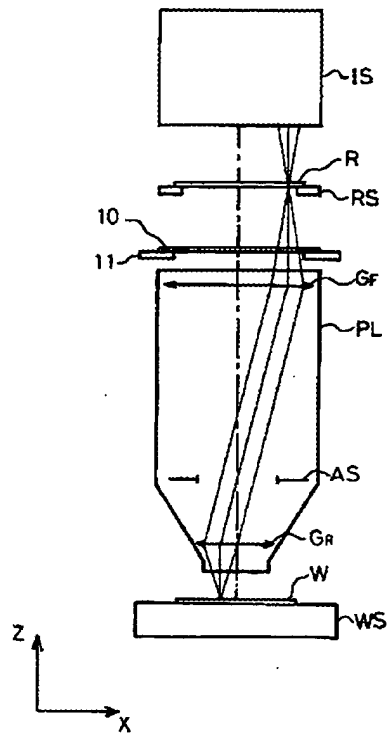
【図 4】



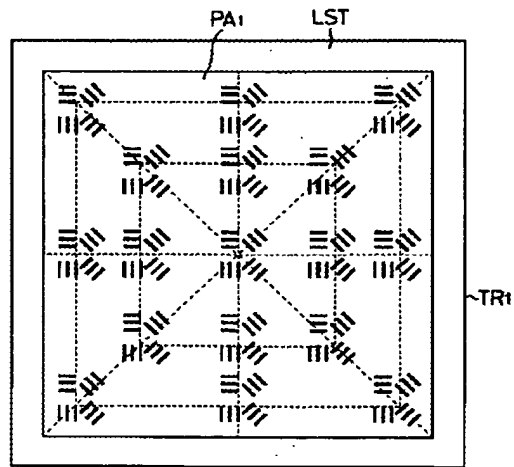
(a)



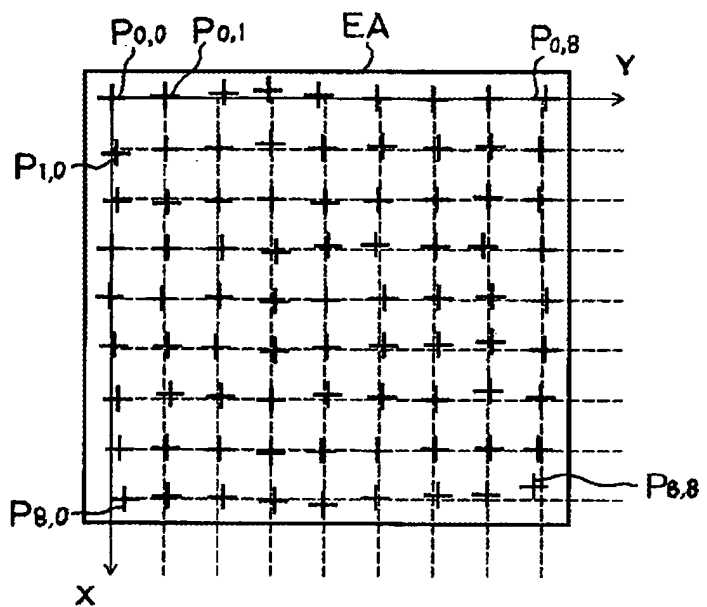
【図3】



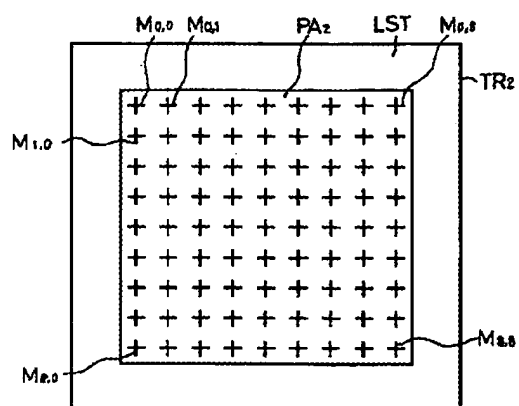
【図5】



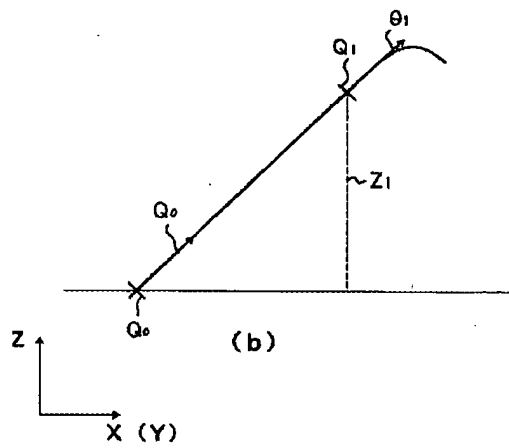
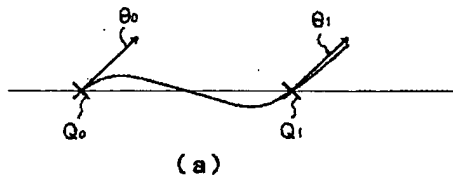
【図7】



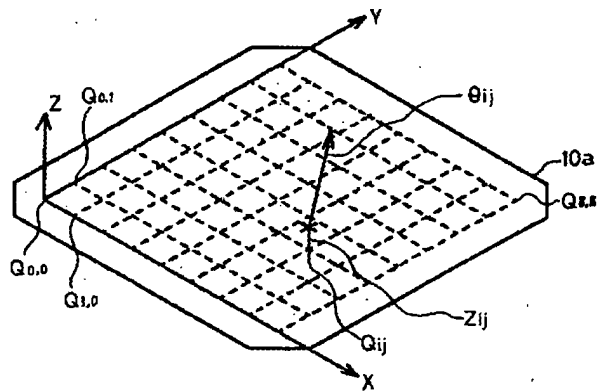
【図6】



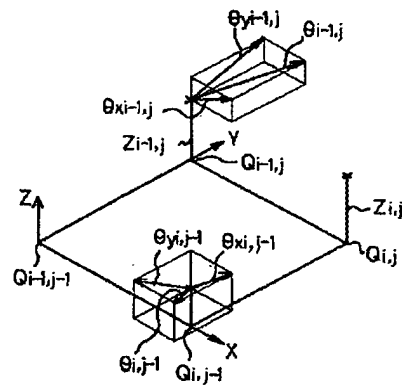
【図8】



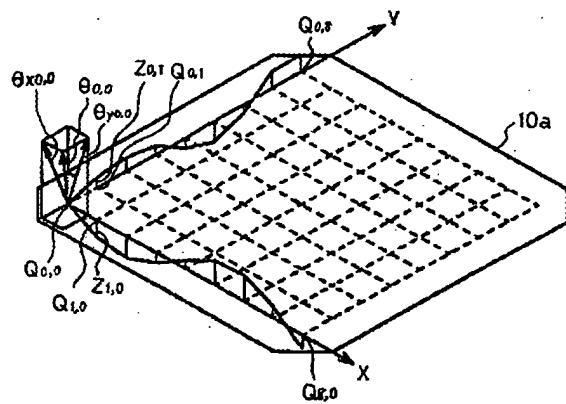
【図9】



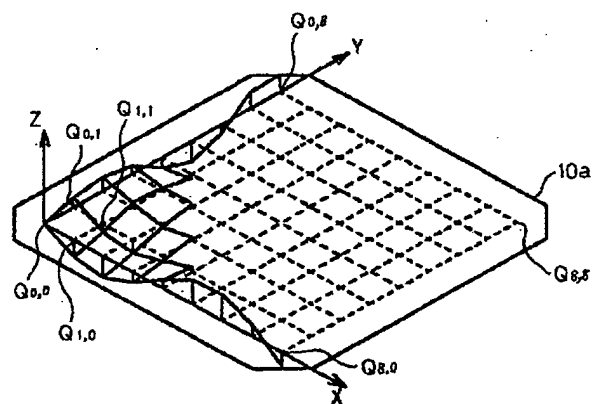
【図11】



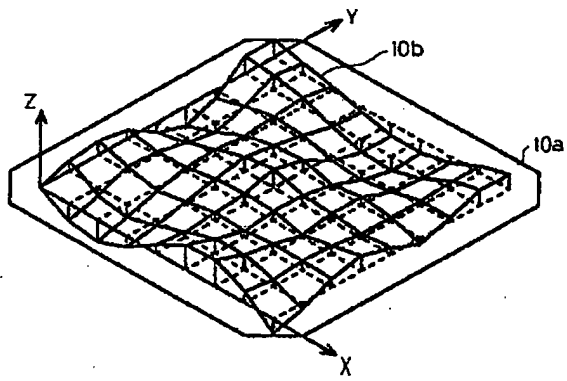
【図10】



【図12】



【図 13】



【図 14】

